

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



②① Aktenzeichen: 199 44 310.6  
②② Anmeldetag: 15. 9. 1999  
④③ Offenlegungstag: 29. 3. 2001

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

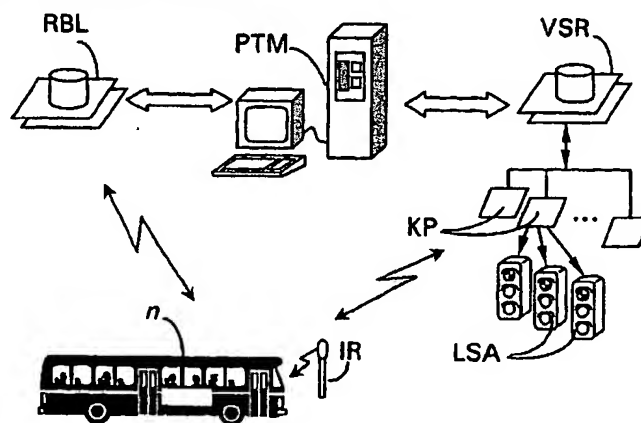
⑦② Erfinder:  
Brackenhammer, Ulrich, 81377 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und System zur Priorisierung des öffentlichen Personennahverkehrs

⑤⑦ Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs werden mittels bevorzogter Zuteilung einer Grünphase an Lichtsignalanlagen (LSA) gegenüber dem übrigen Verkehr priorisiert. Um einzelne dieser Fahrzeuge (z. B. n) bedarfsgerecht zu bevorzugen, wird das Verkehrsnetz mit Haltestellen (z. B. k), Lichtsignalanlagen und Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs als Regelstrecke eines Regelungssystems aufgefaßt, in dem zentrale Rechner (VSR und RBL) einer Verkehrsleitanlage für das Verkehrsnetz bzw. eines Betriebsleitsystems für den öffentlichen Verkehr sowohl Meß- als auch Stellglieder bilden. Diesen zentralen Rechnern (VSR, RBL) ist als Regler ein Koppelrechner (PTM) zugeordnet, der basierend auf der ihm zugeführten Statusinformation über den Gesamtzustand des Verkehrsnetzes innerhalb eines festgelegten Vorausschaubereiches dessen Fortentwicklung prognostiziert und danach diejenigen Steuereingriffe ermittelt, die im Sinne einer vorgegebenen Zielfunktion zu einer Optimierung des Gesamtzustandes im Verkehrsnetz führen.



## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur bedarfsgerechten Priorisierung des öffentlichen Personennahverkehrs gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie auf ein System zur Durchführung dieses Verfahrens.

- 5 Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs, im folgenden öffentlicher Verkehr genannt, teilen sich häufig die Verkehrsfläche insbesondere mit dem motorisierten Individualverkehr. Um einen reibungslosen Betrieb des öffentlichen Verkehrs zu gewährleisten, werden, sofern möglich, Busspuren und andere Sonderflächen für den öffentlichen Verkehr geschaffen sowie ihm an Lichtsignalanlagen Sonderrechte eingeräumt. Die Priorisierung des öffentlichen Verkehrs geht aber immer zu Lasten der konkurrierenden Verkehrsströme, d. h. dem motorisierten oder auch nicht motorisierten Individualverkehr. Damit treten systembedingt Zielkonflikte auf.

- 10 Diese Zielkonflikte seien wie folgt erläutert. Reisezeiten von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs setzen sich aus absoluten Fahrzeiten, Zeiten für den Aufenthalt an Haltestellen sowie Wartezeiten an Lichtsignalanlagen zusammen. Die ersten beiden Parameter sind im wesentlichen durch die Fahrzeugeigenschaften sowie die verkehrsbedingten Charakteristika der Strecke festgelegt. Lediglich Haltezeiten an Lichtsignalanlagen sind durch steuerungstechnische Maßnahmen reduzierbar. Dabei sind zwei Arten von Verkehrssituationen zu unterscheiden, die durch den Typ der entsprechenden Lichtsignalanlage bestimmt sind, nämlich die Situation an singulären Knotenpunkten, d. h. einzeln gesteuerten Lichtsignalanlagen bzw. an einer Mehrzahl von koordiniert gesteuerten Knotenpunkten, häufig als "grüne Welle" bezeichnet.

- 15 An singulären Knotenpunkten sind die Zeitpunkte des Eintreffens von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs zufallsbedingt, d. h. nicht mit einer vorgesehenen Freigabezeit der Lichtsignalanlage koordiniert. Hier ist es möglich, im Bedarfsfall einen Steuereingriff vorzunehmen, um dem öffentlichen Verkehr Vorrang zu schaffen. Dazu ist es aber erforderlich, Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs im Verkehrsstrom selektiv zu erkennen. Verzögerungen des Individualverkehrs lassen sich reduzieren, wenn man dabei den Eingriff in den Signalumlauf beispielsweise durch Vorziehen bzw. Verlängern der Freigabezeit geeignet ausgestaltet.

- 20 Koordinierte Knotenpunkte zeichnen sich durch eine gemeinsamen Umlaufzeit aus, d. h. während eines definierten Zeitraumes erfolgt ein einmaliger Ablauf des Signalprogrammes jeder einzelnen Lichtsignalanlage. Der Signalzeitenplan der einzelnen Lichtsignalanlagen an den miteinander koordinierten Knotenpunkten ist auf die Progressionsgeschwindigkeit des motorisierten Individualverkehrs abgestimmt. Die davon abweichenden Charakteristika des öffentlichen Verkehrs, wie zum Beispiel andere Beschleunigungs- bzw. Verzögerungszeiten, auch Aufenthalte an Haltestellen, ergeben, daß Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs der grünen Welle nicht folgen können. Bei dieser Art der Verkehrssituation ist jeder Eingriff in die Steuerung einer Lichtsignalanlage am einzelnen Knotenpunkt zum Zwecke der Priorisierung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs wesentlich kritischer. Um den Rhythmus der grünen Welle nicht zu zerstören, darf deren Kerngrünzeit nicht verletzt werden. Deshalb empfiehlt sich bei koordinierten Knotenpunkten lediglich ein Vorziehen oder Verlängern der Phase für den öffentlichen Verkehr innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches.

- 30 Zu weiteren Einzelheiten sowie bekannten Lösungsvorschlägen für die Priorisierung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs sei beispielhaft auf die folgenden Druckschriften verwiesen:

- 35 "Beschleunigung öffentlicher Verkehrsmittel in Straßennetzen mit Hilfe von Lichtsignalanlagen", Siemens AG, Straßenverkehrstechnik;

- "Hinweise zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung", Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1993;

- 40 "Priority for Public Transport in Germany", Journal of Advanced Transportation, Vol. 28, No. 3, Seiten 313 bis 340.

- Ein zentrales Problem bei den daraus bekannten Lösungen für die Priorisierung des öffentlichen Verkehrs ist die Anmeldung der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs, d. h. die Anforderung dieser Fahrzeuge auf eine Freigabezeit der Lichtsignalanlage, in deren Bereich das entsprechende Fahrzeug einfährt.

- 45 In "Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs", veröffentlicht in Sonderausgabe "Grünlicht", Siemens AG, Informationen zur Straßenverkehrstechnik (ohne Angabe zum Publikationsdatum), ist ein Anforderungssystem beschrieben, das auf induktiver Signalübertragung beruht. Jedes Fahrzeug des öffentlichen Verkehrs führt einen Erkennungssender mit sich. An Anmeldepunkten sind Detektoren in Form einer in die Fahrbahn verlegten Drahtschleife vorgesehen, deren Ausgangssignal in einer Empfangsbaugruppe ausgewertet wird, die zumeist im Steuergerät der betreffenden Lichtsignalanlage untergebracht ist. Das Funktionsprinzip dieses bekannten Anforderungssystems ist zwar einfach, verlangt aber aufwendige Installationen in der Straßenoberfläche. Weiterhin ist der Automatisierungsgrad relativ niedrig, da Angaben zur Fahrtrichtung vom System nicht unmittelbar erkannt werden, sondern diesem vom Fahrer des Fahrzeuges eigens übermittelt werden müssen.

- 50 Aus "LIO-PLUS-Systemfamilie für den öffentlichen Verkehr", einer Druckschrift der HPW-HÄNI-PROLECTRON AG, 1993, ist ein Anforderungssystem bekannt, das mittels Infrarotübertragung auf einfache Weise die bidirektionale Übertragung von Informationen zwischen Fahrzeug und einer Infrarot-Bake erlaubt.

- 55 Die Infrarot-Bake gibt an das passierende Fahrzeug ein Telegramm ab, das insbesondere die Adresse der Lichtsignalanlage enthält, an die sich das Fahrzeug annähert. Die im Fahrzeug empfangene Information wird in einem Bordcomputer ausgewertet, dabei wird ein Anforderungstelegramm generiert, das mittels einer Adresse selektiv zu dem vorausliegenden Knotenpunkt übertragen wird. Das Telegramm enthält Statusinformation zum Fahrzeug, gegebenenfalls auch Prioritätsinformation. Im Steuergerät des Knotenpunktes wird dieses Funktelegramm ausgewertet und in entsprechende Signalschaltbefehle für die Signalgruppe des Knotenpunktes umgesetzt.

- 60 Diesen bekannten Lösungsansätzen ist gemeinsam, daß versucht wird, aufgrund individueller Anforderungen einzelner Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs an lokalen Knotenpunkten eines Verkehrsnetzes die Verkehrssituation zu bewältigen. Dabei wird Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs gegenüber dem Individualverkehr Vorrang eingeräumt, damit erstere einen vorgegebenen Fahrplan einhalten können. Daß dies in Stoßzeiten des Verkehrs nicht immer gelingt, ist jedermann offenkundig. Ein typisches Beispiel dafür ist die akkumulierte Verspätung, zum Beispiel eines Busses im Stoßverkehr. Bei einer eingetretenen Verspätung warten auf diesen Bus umso mehr Fahrgäste an einer Haltestelle. Aufgrund der erhöhten Zahl der aus- bzw. einsteigenden Fahrgäste verlängert sich die Aufenthaltszeit des Busses an der Haltestelle und

er erhält eine weitere Verspätung. Dies setzt sich im Verlauf seiner Fahrt fort, bis der Extremfall eintritt, daß auf den verspäteten, voll besetzten Bus schließlich das im Fahrplan nachfolgende Fahrzeug der gleichen Buslinie in kurzem zeitlichen Abstand und nahezu unbesetzt folgt. Unter diesen Voraussetzungen sind Anschlußverbindungen zu anderen Linien des öffentlichen Verkehrs nicht aufrechtzuerhalten, so daß sich eine Störung auf einer Linie in anderen Linien des öffentlichen Verkehrs fortpflanzt und sich im Verkehrsnetz ausbreitet. Die konventionelle Priorisierung des öffentlichen Verkehrs, bei der sich Fahrzeuge einzeln und lokal anmelden, um eine Grünphase anzufordern, ist deshalb nicht effektiv und geht grundsätzlich zu Lasten des Individualverkehrs. Diese Benachteiligung des Individualverkehrs kann sogar dazu führen, daß er sich in bestimmten, von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs mitbenutzten Fahrspuren staut und diese dadurch noch mehr behindert.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art derart auszugestalten, daß die Bedürfnisse des öffentlichen Verkehrs besser als bisher üblich auf den Individualverkehr abgestimmt werden und damit im Interesse beider Gruppen von Verkehrsteilnehmern eine Optimierung des Verkehrsflusses erreicht wird.

Bei einem Verfahren der eingangs genannten Art wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 beschriebenen Merkmale gelöst.

Bei dieser Lösung ist es nicht nur von Vorteil, daß für ein einzelnes Fahrzeug des öffentlichen Verkehrs bereits vor einer erneuten Anforderung, d. h. einer Anmeldung für eine bevorrechtigte Grünphase an der nächsten Lichtsignalanlage eine Bewertung für die Priorisierung dieses Fahrzeuges vorgenommen wird, es ist vielmehr nach diesem Verfahren möglich, die Fortbewegung aller in das Verfahren einbezogenen Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs miteinander zu korrelieren. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren stellt sich die Lenkung der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs nicht mehr nur als eine Vielzahl von lokalen Anmeldungen einzelner Fahrzeuge dar, die auch lokal und völlig unkoordiniert gesteuert werden. Vielmehr basiert das Verfahren auf einer wenn auch kurzfristigen Vorausschau über die Entwicklung des Verkehrsgeschehens im gesamten, in das Verfahren einbezogenen Streckennetz. Dabei beruht diese kurzfristige Prognose über die Fortbewegung einzelner Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs auf einfachen grundlegenden Annahmen, die auch kurzfristig durch das aktuelle Verkehrsgeschehen zu korrigieren sind.

Dies sei an einem Beispiel erläutert. Wird gemäß dem Verfahren zunächst für die Fahrzeit eines Busses oder einer Straßenbahn von einer bestimmten Haltestelle zur nächsten ein Erfahrungswert zugrundegelegt, so kann die noch von diesem Erfahrungswert abweichende tatsächliche Fahrzeit als die prognostizierte Fahrzeit dem nachfolgenden Fahrzeug derselben Linie zugrundegelegt werden, wenn man davon ausgeht, daß aufgrund einer relativ hohen Verkehrsfolge beim Eintreffen des nachfolgenden Fahrzeuges keine grundsätzliche Änderung des Verkehrsgeschehens eingetreten ist. Eine wesentliche und prinzipielle Funktion des erfindungsgemäßen Verfahrens läßt sich daher als eine adaptive Regelung auffassen, die das gesamte Straßennetz einbezieht und den öffentlichen Verkehr nur insoweit priorisiert, wie erforderlich und die damit den Verkehrsfluß für alle Gruppen von Verkehrsteilnehmern optimiert.

Konventionelle Methoden zur Priorisierung des öffentlichen Verkehrs versuchen, ein an sich instabiles System, verstanden als die Summe der Bewegungen aller Verkehrsteilnehmer in einem Verkehrsnetz, mit Hilfe von einzelnen, lokalen Eingriffen, die untereinander nicht koordiniert sind, zu stabilisieren. Die tägliche Erfahrung lehrt, daß sich in einem solchen instabilen System zunächst kleine Störungen, sofern sie nicht kompensiert werden, aufschaukeln, dann ausbreiten und schließlich zu erheblichen Störungen im gesamten Netz führen können. Das erfindungsgemäße Verfahren vermeidet eine solche Entwicklung. Kleine Störungen werden netzweit rechtzeitig erkannt, lassen sich, wenn nicht eliminieren, so doch korrigieren und in ihrer Auswirkung auf das gesamte Netz minimieren. Dabei ist das erfindungsgemäße Verfahren flexibel einsetzbar. So erfordert es nicht grundsätzlich, alle eingesetzten Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs in das Verfahren einzubeziehen, wohl aber alle Linien mit hohem Verkehrsaufkommen und dann dort auch alle Fahrzeuge einer Linie. Analoges gilt für die Lenkung des Verkehrs im Verkehrswegenetz. Ohne die Funktionsfähigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens vollständig in Frage zu stellen, ist es nicht erforderlich, alle Lichtsignalanlagen des gesamten Verkehrsnetzes in das Verfahren einzubeziehen. Bei Inkaufnahme gewisser Beschränkungen des Regelverhaltens genügt es vielmehr, wiederum nur diejenigen Verkehrswege in Betracht zu ziehen, auf denen sich die in das Verfahren einbezogenen Fahrzeuge bewegen. Dann aber gilt, daß alle Lichtsignalanlagen dieser betroffenen Verkehrswege und ihre Steuerung in das Verfahren einzubeziehen sind.

Weitere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie eines Systemes zum verkehrsoptimierten Priorisieren von Fahrzeugen des öffentlichen Personenverkehrs, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt wird, ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie einer Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der Zeichnung näher beschrieben, dabei zeigt:

Fig. 1 in einer Übersicht ein System zum verkehrsoptimierten Priorisieren von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs, die mit der Zentrale eines Betriebsleitsystemes einerseits und über Steuergeräte von Knotenpunkten einer Verkehrsleitanlage, mit deren Verkehrsrechner kommunizieren und mit einem Koppelrechner, der bidirektional mit der Zentrale des Betriebsleitsystemes sowie dem Verkehrsrechner verbunden ist,

Fig. 2 in Ergänzung zu Fig. 1 die Struktur von Prozeßabläufen in der Zusammenarbeit des Koppelrechners mit der Zentrale des Betriebsleitsystemes und dem Verkehrsrechner,

Fig. 3 ein Schema zur Fortbewegung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs von einer Haltestelle zur nächsten, anhand dessen diese Fortbewegung in der Zeitachse bestimmende Kenngrößen illustriert werden und

Fig. 4 in Erweiterung von Fig. 3 ein Beispiel, wie neben Haltestellen auch Aufenthalte an Lichtsignalanlagen als Abfertigungsstellen in das Schema einzubeziehen sind.

In Fig. 1 ist schematisch ein System zum verkehrsoptimierten Priorisieren von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs dargestellt. Diese Darstellung soll eine wesentliche Eigenschaft dieses Systemes illustrieren, daß es nämlich bisher voneinander unabhängig betriebene Einrichtungen zur Steuerung des öffentlichen Verkehrs wie des Gesamtverkehrs in sich vereinigt. Dabei handelt es sich zum einen um ein rechnergesteuertes Betriebsleitsystem, bei dem ein ständiger programmgesteuerter Datenfunkverkehr zwischen Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs, zum Beispiel einem Bus n und seiner Zentrale RBL stattfindet. Zum anderen handelt es sich dabei um eine rechnergesteuerte Verkehrsleitanlage mit ei-

nem zentralen Verkehrsrechner VSR, der über Steuersignalverbindungen mit einer Vielzahl von Knotenpunktsteuergeräten KP in bidirektionaler Verbindung steht. Diese wiederum steuern jeweils den Signalumlauf von Lichtsignalanlagen LSA eines Verkehrsknotenpunktes, senden aber auch Meßdaten zur aktuellen Verkehrslage an den Verkehrsrechner VSR.

Die Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs, zum Beispiel der Bus n, sind – in Fig. 1 nicht dargestellt – mit einem Bordrechner ausgerüstet, an den ein bidirektionales Sende/Empfangsgerät angeschlossen ist. Der Bus n erhält beim Passieren einer einzelnen Infrarot-Bake IR Informationen über die Bakenummer, einen Funkkanal, mit dem Verbindung zum nächsten Knotenpunktsteuergerät KP aufgenommen werden kann sowie verschiedene Distanzinformationen zu Anmeldepunkten für die vorausliegende Lichtsignalanlage LSA. Darüber hinaus verwaltet der Bordrechner im Bus n Informationen für die Fahrgäste, den Fahrer sowie die Leitstelle und ferner Statusinformationen des einzelnen Fahrzeuges. Zu diesen gehören insbesondere die aktuelle Fahrzeugposition, das Fahrtziel, Wegzählerinformationen sowie gegebenenfalls Besetzungsgrad und Fahrplanabweichung des Fahrzeuges. Ein Teil dieser Daten, die vom Bordrechner verwaltet werden, werden an das die vorausliegende Lichtsignalanlage LSA steuernde Knotenpunktsteuergerät KP in Form einer Anforderung auf Zuteilung einer Grünphase übermittelt. Dieses setzt die Anforderung, zum Beispiel des Busses n, in Steueranweisungen für den Signalumlauf der angeschlossenen Lichtsignalanlage LSA um. Rechnergesteuerte Verkehrsleitsysteme mit ihren Einrichtungen, den durch sie gesteuerten Abläufen sowie die diese auslösenden Kommunikationen zwischen anfordernden Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs und der Verkehrsleiteinrichtung sind inzwischen durchaus bekannt, vielfach bereits sogar standardisiert, so daß es dazu hier keiner weiteren Schilderung im einzelnen bedarf.

Die in den Bordrechnern der einzelnen Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs gesammelten und verwalteten Daten werden – in Auswahl – vorzugsweise zyklisch in kurzen Zeitabständen durch das Betriebsleitsystem abgerufen. In dessen Zentrale RBL stehen damit Statusinformationen über alle angeschlossenen Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs zur Verfügung. Dabei wird zwischen statistischen und dynamischen Daten unterschieden. Bei den dynamischen Daten handelt es sich um die zyklisch abgefragten Informationen. Statistische Daten werden durch Auswerten und Sammeln dieser dynamischen Daten gewonnen. Die dynamischen Daten dienen vorrangig zur Koordinierung der aktuellen Verkehrssituation, d. h. zur Anschlußsicherung sowie zur Korrektur von Fahrplanabweichungen. Die statistischen Daten werden zum Erkennen von längerfristigen Störungen im Verkehrsablauf, zum Aktualisieren von Einsatzplänen der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs sowie bei der Fahrplangestaltung ausgewertet. Eine weitergehende Detailbeschreibung von als solchen bekannten Abläufen im Betriebsleitsystem würde hier zu weit führen.

Zusammenfassend läßt sich aber feststellen: In der Verkehrsleitanlage liegen einerseits Informationen zur momentanen Verkehrssituation an den einzelnen Knotenpunkten des Verkehrswegenetzes vor, insbesondere auch eine Vielzahl von zufälligen Anforderungen einzelner Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs, die unter Umständen in Abhängigkeit von beim einzelnen Fahrzeug aufgetretenen Verzögerungen gegenüber dem Fahrplan unterschiedliche Prioritäten haben. Diese Aktualität besitzen aber die in der Zentrale RBL des rechnergesteuerten Betriebsleitsystemes gesammelten Daten nicht. Beide Datenmengen werden in der Zentrale RBL des Betriebsleitsystemes bzw. im Verkehrsrechner VSR der Verkehrsleitanlage konventionell unabhängig voneinander verwaltet und ausgewertet. Als eine Schnittstelle zwischen diesen beiden Systemen könnte allenfalls angesehen werden, daß Anforderungen einzelner Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs bei Anmeldungen an Knotenpunkten durch das rechnergesteuerte Betriebsleitsystem über den Bordrechner des anfordernden Fahrzeuges entsprechende Prioritätsmerkmale beigefügt werden.

Typisch für die beiden konventionell getrennt voneinander operierenden Systemeinheiten, das Betriebsleitsystem einerseits und die Verkehrsleitanlage andererseits ist ferner, daß sie auf völlig unterschiedlichen Planungskonzepten beruhen. Im Betriebsleitsystem werden dabei sog. Führungsgrößen wie Fahrpläne, Taktzeiten, Verteilung der Fahrzeugressourcen auf die einzelnen Linien, Reservekapazitäten um Ausfällen zu begegnen usw. festgelegt. Eingeschlossen ist dabei, daß gegebenenfalls unterschiedliche Strategien für den Verkehr in Spitzenzeiten bzw. Normalzeiten gefahren werden, auch Anpassungen an Feiertage oder an besondere Veranstaltungen vorgesehen sind. Während eines Tages werden diese längerfristig geplanten Führungsgrößen jedoch nur selten verändert. Ähnliches gilt für zentrale Verkehrsleitanlagen, deren Aufgabe ist es, den Gesamtverkehr flüssig zu halten. Dafür ist es notwendig, die Verkehrsknotenpunkte koordiniert zu überwachen und zu steuern. Zu diesem Zweck werden für unterschiedliche Verkehrssituationen, insbesondere während eines Tagesablaufes, geeignete Signalprogramme verfügbar gehalten, die beim Auftreten einer entsprechenden Verkehrssituation über den Verkehrssignalrechner VSR zentral eingesetzt werden.

Auf diese Führungsebene ist in beiden Systemen jeweils eine Steuerungsebene aufgesetzt, die auf die aktuelle Verkehrssituation reagiert und dabei Störungen im Betrieb des öffentlichen Verkehrs einerseits bzw. im Gesamtverkehr andererseits zu vermeiden oder wenigstens zu beheben versucht. In beiden Fällen erfolgt dies durch entsprechende Steuerungseingriffe. Im Falle des Betriebsleitsystemes bedeutet dies entsprechende Anweisungen an die einzelnen Fahrzeuge, beispielsweise Abfahrten zu verzögern, um Anschlüsse trotz Verspätungen anderer zuliefernder Fahrzeuge einzuhalten. Im Falle einer Verkehrsleitanlage bedeutet dies die Überwachung und Steuerung der an den Verkehrsknotenpunkten aufgestellten Knotenpunktsteuergeräte, die ihrerseits das jeweilige Signalprogramm für die angeschlossene Lichtsignalanlage LSA ausführen.

Ein wesentliches Charakteristikum für die Auswirkung auf die gesamte Verkehrssituation ist die Tatsache, daß den Steuereingriffen der Zentrale des Betriebsleitsystemes RBL bzw. des Verkehrssignalrechners VSR der Verkehrsleitanlage unterschiedliche Optimierungsziele zugrundeliegen. Das erstere ist darauf ausgerichtet, den öffentlichen Verkehr möglichst störungsfrei gebunden an vorgegebene Fahrpläne zu führen. Schon bei höherem Verkehrsaufkommen geht die damit verbundene Priorisierung des öffentlichen Verkehrs immer mehr zu Lasten des motorisierten Individualverkehrs. So ist es nicht ungewöhnlich, daß die uneingeschränkte Priorisierung des öffentlichen Verkehrs bei Spitzenbelastungen im Gesamtverkehr im Sinne dieses Optimierungszieles zu einem negativen Ergebnis führt. Der durch die Priorisierung des öffentlichen Verkehrs infolgedessen aufgestaute motorisierte Individualverkehr kann wiederum Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs, die in diesem Stau steckenbleiben, daran hindern, ihren Fahrplan einzuhalten. Besonders kritisch ist, daß sich diese Störungen im Verkehrswegenetz ausbreiten, weil beispielsweise Anschlüsse nicht eingehalten werden. In dieser Situation ist der Verkehrsrechner VSR der Verkehrsleitanlage durch die ständig wachsenden Anforderungen des

öffentlichen Verkehrs daran gehindert, seiner eigentlichen Optimierungsaufgabe nachzukommen, den Gesamtverkehr möglichst flüssig zu halten. Im Ergebnis wird das System "Gesamtverkehr" instabil, die Auswirkungen sind Verkehrsstaus und unkoordinierte Verspätungen von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs.

Das vorliegende System zum verkehrsoptimierten Priorisieren des öffentlichen Verkehrs sieht nun vor, wie in Fig. 1 schematisch dargestellt ist, die beiden rechnergestützten Leitsysteme über einen Koppelrechner PTM miteinander zu vernetzen. Wie in Fig. 1 schematisch dargestellt ist, erhält dieser Koppelrechner PTM sowohl von der Zentrale des Betriebsleitsystems RBL als auch von dem Verkehrsrechner VSR Informationen über die aktuelle Verkehrssituation. Dem Koppelrechner PTM liegt also ein möglichst detailgetreues Abbild der gesamten Verkehrssituation vor. Er verarbeitet diese Information im Sinne einer Optimierung des Gesamtverkehrs unter Berücksichtigung der Anforderungen des öffentlichen Verkehrs. Als Ergebnis liefert er Steuerinformationen sowohl an die Zentrale des Betriebsleitsystems RBL als auch an den Verkehrsrechner VSR. Der Koppelrechner PTM besitzt damit eine Reglerfunktion für das System "Gesamtverkehr".

In Fig. 2 ist dieses Regelsystem in seiner Struktur schematisch verdeutlicht. Dort ist in einem Block 1 formal das Verkehrswegenetz mit öffentlichem Verkehr und Individualverkehr wiedergegeben. Für die Regelung des Verkehrs in diesem Verkehrswegenetz seien strategische Einsatzkonzepte entwickelt, die in Form von Führungsgrößen, mit D1 bezeichnet, im Hinblick auf die Bedürfnisse des öffentlichen Verkehrs in der Zentrale des Betriebsleitsystems RBL bzw. im Hinblick auf die Lenkung des Gesamtverkehrs im Verkehrsrechner VSR niedergelegt sind. Wie vorstehend bereits erläutert, erhält sowohl die Zentrale des Betriebsleitsystems RBL als auch der Verkehrsrechner VSR ständig Information über die ihnen zugeordneten Komponenten des Verkehrswegenetzes, die in entsprechender Form an den Koppelrechner PTM weitergeleitet wird. Auf dieser Ebene sind die entsprechenden Rechnerzeilelemente die Meßglieder, die entsprechende Meßdaten, mit D2 bezeichnet, dem Koppelrechner PTM liefern. In Fig. 2 ist ferner angedeutet, daß dem Koppelrechner PTM von dem Verkehrsrechner VSR weitere Information zugeführt werden kann. Dies bezieht sich darauf, daß der Verkehrsrechner VSR gegebenenfalls aus der Entwicklung der ihm über die Koppelsteuergeräte KP zugeführten Information über die Verkehrsentwicklung eine Prognose über die Fortentwicklung des Verkehrs erstellt. Diese wird in Form einer Prognoseinformation D3 in den Koppelrechner PTM eingegeben. Der Koppelrechner PTM verarbeitet diese ihm zugeführten Informationen und liefert im Ergebnis an die Zentrale des Betriebsleitsystems RBL sowie den Verkehrsrechner VSR, die in diesem Falle nun als Stellglieder operieren, eine entsprechende Steuerinformation D4.

Um das anhand von Fig. 2 beschriebene System zu einem funktionsfähigen Regelsystem auszubauen, bedarf es – entsprechend der Nomenklatur eines Regelkreises – einer möglichst exakten Beschreibung der Regelstrecke, die in der Darstellung von Fig. 1 dem Block 1 entspricht. Jede solche funktionale Beschreibung wird immer lediglich eine Approximation der Realität sein, sie ist daher insbesondere so zu wählen, daß vor allem diejenigen Eigenschaften in möglichst guter Annäherung durch die Beschreibung wiedergegeben werden, die für die Problemstellung des Regelkreises relevant sind. Wegen dieser Unschärfe, gegebenenfalls auch der Fehleinschätzung unberücksichtigt bleibender Parameter muß diese Beschreibung zudem so gewählt werden, daß das damit festgelegte Regelsystem möglichst robust ist. Auf den hier vorliegenden Anwendungsfall bezogen, wird nachfolgend eine Beschreibung der Fortbewegung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs dargelegt, die aus aktuellen Meßwerten sowie fundierten statistischen Größen eine kurzfristige Prognose über die Fortbewegung dieser Fahrzeuge definiert.

In Fig. 3 ist stellvertretend für den gesamten öffentlichen Verkehr schematisch ein Ausschnitt aus dem Verkehrswegenetz mit der Strecke einer Verkehrslinie zwischen zwei Haltestellen dargestellt. Das Schema beschreibt die voraussichtliche Abfahrtszeit  $Z_k^n$  eines Fahrzeuges  $n$  des öffentlichen Verkehrs an einer beliebigen anzufahrenden Haltestelle  $k$  in Relation zur vorhergehenden, bereits passierten Haltestelle  $(k-1)$ . Grundsätzlich setzt sich die Abfahrtszeit aus einer Fahrzeit und einer Haltestellenaufenthaltszeit zusammen. Die Fahrzeit sei hier als die reine physikalische Fahrzeit plus Verzögerungen durch Verkehr, auch Lichtsignalanlagen LSA definiert. Mathematisch ist dies folgendermaßen formulierbar:

$$Z_k^n = Z_{k-1}^n + F_k^n + H_k^n, \quad (1)$$

dabei ist  $Z_k^n$  die Abfahrtszeit des Busses  $n$  an der Haltestelle  $k$ ,  $F_k^n$  die zufällig verteilte Fahrzeit von der vorausgehenden Haltestelle  $(k-1)$  zur nächsten Haltestelle  $k$  und  $H_k^n$  die im allgemeinen zufällig verteilte Aufenthaltszeit des Busses  $n$  an der Haltestelle  $k$ .

Wenn sich bei hochfrequenten Linien mit kurzen Taktzeiten von z. B. ca. 10 min ein Fahrzeug verspätet, nimmt die Anzahl der an der nächsten Haltestelle wartenden Personen zu. Dieses erhöhte Fahrgastaufkommen führt zu einer weiteren Verzögerung des Fahrzeuges durch den zeitaufwendigeren Ein- und Aussteigevorgang. So summieren sich die Verspätungen. Dies berücksichtigend, wird die Anzahl  $P_k^n$  der an einer Haltestelle einsteigenden Passagiere wie folgt beschrieben:

$$P_k^n = C_k^n \cdot (Z_k^n - Z_k^{n-1}), \quad (2)$$

dabei ist  $C_k^n$  die "zufällige" Dichte des Passagierstromes, der proportional zu der Differenz der Abfahrtszeiten zweier aufeinanderfolgender Fahrzeuge an derselben Haltestelle ist. Setzt man weiterhin die Aufenthaltszeit  $H$  an einer Haltestelle proportional zur Anzahl  $P$  der einsteigenden Passagiere, so ist

$$H_k^n = C_k^n \cdot P_k^n \quad (3)$$

Die Beziehung (3) vereinfacht in ihrer linearen Annahme die Vorgänge an Haltestellen. Sie läßt z. B. den Aussteigevorgang außer acht. Trotzdem ist diese Beschreibung zunächst hinreichend.

Setzt man Beziehung (2) in Beziehung (3) ein und wird der sich damit ergebende Term  $H_k^n$  wiederum in Beziehung (1) ersetzt, so ergibt sich



$$Z_k^n = Z_{k-1}^n + F_k^n + C_k^n \cdot (Z_k^n - Z_k^{n-1}) \quad (4)$$

wobei das Produkt der beiden stochastischen Parameter gemäß der nachfolgenden Beziehung (5) substituiert wurde:

$$C_k^n = C_k^{n''} \cdot C_k^{n'} \quad (5)$$

Wird dann Beziehung (4) nach  $Z_k^n$  aufgelöst, so ergibt sich

$$Z_k^n = \frac{1}{1 - C_k^n} \cdot (Z_{k-1}^n + F_k^n) - \frac{C_k^n}{1 - C_k^n} \cdot Z_k^{n-1} \quad (6)$$

Die damit festgelegte Abfahrtszeit  $Z_k^n$  bezieht sich auf ein sogenanntes fahrplanloses Fahren, bei dem das Fahrzeug sofort nach Beendigung des Ladevorganges weiterfährt. In den meisten Fällen ist aber ein Fahrplan einzuhalten. Dann kann das Fahrzeug n die Haltestelle k erst verlassen, wenn die im Fahrplan vorgesehene Abfahrtszeit  $T_k^n$  erreicht und der Fahr-  
gastwechsel abgeschlossen ist. Dies läßt sich folgendermaßen ausdrücken:

$$Z_k^n = \text{MAX} \left\{ \frac{1}{1 - C_k^n} \cdot (Z_{k-1}^n + F_k^n) - \frac{C_k^n}{1 - C_k^n} \cdot Z_k^{n-1}, T_k^n \right\} \quad (7)$$

Soll ferner die Verspätung  $V_k^n$  des Fahrzeuges n an einer Haltestelle k berechnet werden, so ergibt sich

$$V_k^n = Z_k^n - T_k^n \quad (8)$$

Die vorgestellte formale Beschreibung von Abfahrtszeiten ist hinreichend genau, um damit Prognosen zu erstellen, mit denen die Zustände aller Fahrzeugen an allen Haltestellen k eines Verkehrssystems vorhergesagt werden können. Diese Vorausschau ermöglicht ein frühzeitiges Erkennen von Störungen im System. So kann rechtzeitig eingegriffen werden, um zu verhindern, daß sich diese Störungen aufschaukeln, über Anschlußpunkte sogar fortpflanzen und schließlich der gesamte Netzbetrieb unkoordiniert und instabil wird. Weiterhin können damit Anschlüsse gewährleistet und sogar ein Online Informationssystem für Fahrgäste an Haltestellen zur Verfügung gestellt werden, welches diesen die noch verbleibende Wartezeit bis zum Eintreffen des nächsten Fahrzeuges ihrer betreffenden Linie mitteilt.

Bei einer Bewertung der berechneten Prognosen darf allerdings nicht übersehen werden, daß in den zugrundegelegten Beziehungen an zwei Stellen zufällige Einflüsse zum Tragen kommen. Der stochastische Parameter  $C_k^n$  setzt sich aus einer Wahrscheinlichkeitsverteilung  $C_k^{n'}$ , welche die zufällige Verteilung der Passagierdichte beschreibt, und der zufälligen Größe  $C_k^{n''}$  zusammen, die eine Art Einsteigequalität beschreibt. Tatsächlich fallen unter diese Größe sämtliche Störungen des Ladeverkehrs, wie sie z. B. durch Kinderwagen und Rollstühle verursacht werden können. Eine exakte Vorhersage derartiger Störungen ist aber unmöglich, die Prognostizierbarkeit der Abfahrtszeiten wird deshalb beeinträchtigt. Jedoch sind moderne rechnergestützte Betriebsleitsysteme RBL für den öffentlichen Verkehr in der Lage, Ladevorgänge und Passagierströme quantitativ zu erfassen. Die Bestimmung der genannten Größen ist damit über statistische Daten mit ausreichender Genauigkeit möglich.

Ferner unterliegt die Bestimmung der Fahrzeit  $F_k^n$  zwischen zwei Haltestellen einer hohen Varianz, bedingt durch zufällige Einflüsse, wie z. B. der Verkehrsstärke des Individualverkehrs, dem Straßenzustand, usw. Besonders bedeutsam sind dabei signalisierte Knotenpunkte zwischen den Haltestellen (k - 1) und k. Zwar ist der momentane Zustand der Signalisierung als bekannt anzusetzen, aber die exakte Position des Fahrzeuges während der Signalisierung ist im voraus nicht festzulegen.

Wie in Fig. 4 schematisch dargestellt ist, wird, um dieses Problem zu lösen und eine bessere Prognostizierung zu ermöglichen, die formale Streckenbeschreibung erweitert. Das dabei angestrebte Ziel ist, daß nur noch kurze, unsignalisierte Fahrstrecken prognostiziert werden müssen, die nicht durch signalisierte Knotenpunkte, d. h. Lichtsignalanlagen LSA unterbrochen sind. Dazu bietet es sich an, die signalisierten Knotenpunkte ebenfalls als Abfertigungsstationen zu definieren. Damit können verschiedene Streckenprofile aus den Beziehungen (7) und (9) zusammengesetzt werden.

Die Streckenbeschreibung zwischen einer Haltestelle (k - 1) und einer Lichtsignalanlage LSA beruht dabei auf den gleichen Annahmen wie der erläuterte Fahrtverlauf zwischen zwei Haltestellen (k - 1) bzw. k. Die Abfahrtszeit des Fahrzeuges n an einer Lichtsignalanlage LSA besteht jetzt ebenfalls aus drei Termen, der Abfahrtszeit  $Z_{k-1}^n$ , an der vorherigen Abfertigungsstation, d. h. im Beispiel an der Haltestelle (k - 1), der prognostizierten Fahrzeit  $F_k^n$  zum signalisierten Knotenpunkt, d. h. der Abfertigungsstation k und einer Wartezeit  $W_k^n$  an dieser:

$$Z_k^n = Z_{k-1}^n + F_k^n + W_k^n \quad (9)$$

Natürlich tritt auch hier wieder das Problem der Fahrzeitprognostizierung auf. Es ist zwar durch die kürzere Partitionierung entschärft, aber mit steigendem Detaillierungsgrad wächst der dabei zu treibende Aufwand exponentiell an. Wieviel Aufwand letztlich durch den damit erzielten Nutzen gerechtfertigt ist, ist vom konkreten Anwendungsfall abhängig.

Mit diesen Definitionen zur Abbildung der Momentansituation des öffentlichen Verkehrs in dem Regelungssystem ist auch die Grundlage für eine koordinierte kurzfristige Vorausschau geschaffen, sodaß Auswirkungen von lokalen Steuerungseingriffen im geographischen und zeitlichen Umfeld dazu zu übersehen sind. Die Beschreibung des Gesamtzustandes des öffentlichen Verkehrs läßt sich in Form einer Matrix darstellen, die im Ausschnitt nachstehend dargestellt ist:

$$\begin{array}{cccc}
 z_1^1 & z_1^2 & \dots & z_1^k \\
 z_2^1 & z_2^2 & \dots & z_2^k \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 z_n^1 & z_n^2 & \dots & z_n^k
 \end{array}$$

In dieser Matrix ist jeder Zelle  $z$  ein Fahrzeug  $n$  und eine Abfertigungsstation  $k$  zugeordnet. Der rechte Nachbar einer Zelle entspricht dem Halt des Fahrzeuges  $n$  an der nächsten Abfertigungsstation  $(k + 1)$ . Der untere Nachbar einer Zelle entspricht dem Halt des nachfolgenden Fahrzeuges  $(n + 1)$  an dieser Abfertigungsstation  $k$ . Eine Zelle ist also ein doppelt indiziertes Objekt mit den folgenden statischen Elementen:

- einem Verweis auf Vorgänger-/Nachfolgefahrzeug an einer Abfertigungsstation,
- einem Verweis auf Vorgänger-/Nachfolgeabfertigungsstation des Fahrzeuges,
- einer fahrplanmäßigen Abfahrtszeit.

Jede Zelle  $z$  enthält aber auch dynamische Informationen, die sich erst während des Prozeßablaufes ergeben:

- einen Zellenzustand (neu, angekommen, bzw. abgefahren),
- die prognostizierte Abfahrtszeit,
- die tatsächliche An- und Abfahrtszeit, falls bereits eingetreten,
- die Regelung dieses Fahrzeuges an dieser Abfertigungsstation.

Zu Beginn des Fahrbetriebes sind alle Zellen  $z$  dieser Matrix im Zustand neu. Im Laufe der Zeit liefert der Prozeß An- und Abfahrtszeiten der Fahrzeuge, die dann sofort in die entsprechenden Zellen eingetragen werden. Zeitbezogen ergibt sich damit folgende Abbildung: Zellen im Zustand neu entsprechen der Zukunft. Zellen, deren Zustand nicht neu ist, die aber einen rechten Nachbarn mit dem Zustand neu haben, bilden die Gegenwart. Alle anderen Zellen beinhalten bereits eingegangene und verarbeitete Funktelegramme von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs, beziehen sich also auf die Vergangenheit.

Die für den Regelvorgang relevanten Informationen liegen damit vor. Mit Hilfe dieser Matrix lassen sich nun die Abfahrtszeiten aller Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs von allen Abfertigungsstationen in Abhängigkeit von potentiellen Eingriffen des Reglersystems prognostizieren. Welche Reglereingriffe aber vorzunehmen sind, um ein im Sinne des Regelungsprozesses optimiertes Ziel zu erreichen, ist nicht für jeden Anwendungsfall absolut zu definieren. Vielmehr ist dieses Optimum für jeden einzelnen Anwendungsfall in Form einer speziellen Zielfunktion des Regelungsprozesses festzulegen. Mit einer definierten Zielfunktion wird ein vorliegender, d. h. aktueller Systemzustand innerhalb eines festgelegten Vorschaubereiches in Abhängigkeit von Regelungseingriffen in bestimmter Weise fortentwickelt. Eine rechnerische Minimierung der Zielfunktion bestimmt diejenigen Regelungseingriffe, die im Ergebnis voraussichtlich zu einem auf das Regelungsziel bezogen - optimierten Systemzustand führen. Auch der Bestimmung der Größe des Vorschaubereiches kommt dabei wesentliche Bedeutung zu. Wird die dabei zugrundegelegte Zeitperiode zu lang gewählt, wird der Rechenaufwand immens. Wird dagegen diese Zeitperiode zu kurz gewählt, können Auswirkungen der Regeleingriffe auf das Gesamtsystem nicht mehr ausreichend berücksichtigt werden, was beispielsweise besonders einleuchtend mit dem Hinweis auf eine dann ungenügende Anschlußsicherung zu belegen ist.

Es ist einleuchtend, daß auch im Bereich Straßenverkehrstechnik unterschiedliche Regelungsziele verfolgt werden können, die bestimmte Parameter des jeweiligen Anwendungsfalles, individuell gewichtet, berücksichtigen. Verschiedene Ansätze für entsprechend definierte Zielfunktionen werden daher im folgenden näher ausgeführt.

Eine lediglich auf den öffentlichen Verkehrsbetrieb abstellende Zielfunktion ergibt sich im einfachsten Fall durch Aufsummieren aller prognostizierten Verspätungen im Vorschaubereich. Dabei lassen sich zwei verschiedene Betriebsarten unterscheiden, den Fahrbetrieb mit starrem beziehungsweise mit variablem Fahrplan. Bei ersterem werden beispielsweise die Verspätungen der einzelnen Fahrzeuge im Verkehrsnetz aufsummiert, mit einer Zahl  $p$  potenziert und einem Faktor  $\epsilon_k^n$  gewichtet, der spezifisch für ein Fahrzeug  $n$  sowie eine Haltestelle  $k$  ist. Wird ferner vorgesehen, daß auch der Besetzungsgrad der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs, d. h. eine Angabe über die Zahl der transportierten Passagiere  $\#(P)_k^n$  ermittelt wird, so kann diese Größe ebenfalls in die Gewichtung einbezogen werden. Damit ist dann eine automatisch priorisierte Gleichbehandlung eines nahezu leeren Fahrzeuges mit vollbesetzten Fahrzeugen und der damit verbundene Nachteil für den Individualverkehr auszuschließen. Ein hoher Potenzierungsfaktor  $p$  bedeutet, daß große Verspätungen stärker ins Gewicht fallen als kleine. Dies muß nicht unbedingt erwünscht sein. Denn einer Störung ist am wirkungsvollsten zu hegegen, wenn darauf früh reagiert wird. Darüber hinaus ist ein hoher Potenzierungsfaktor  $p$  praktisch gleichbedeutend mit einer Maximumsfunktion, kann also auch durch folgende Formulierung der Zielfunktion implementiert werden.

$$f = \sum_{n,k} \epsilon_k^n \cdot (V_k^n)^p \cdot \#(P)_k^n + \max_{n,k} \{ \delta_k^n \cdot V_k^n \cdot \#(P)_k^n \} \quad (11)$$

Mit Hilfe der Parameter  $\epsilon$  und  $\delta$  läßt sich jetzt gewichten, inwieweit hohe Abweichungen bzw. niedrige Abweichungen die Zielfunktion dominieren sollen.



keit von der über Detektoren festgestellten momentanen Verkehrsbelastung vorbestimmte Signalprogramme der Lichtsignalanlagen einzeln und/oder gruppenweise aktiviert werden, daß ferner zum überwachen und Koordinieren von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs ein rechnergesteuertes Betriebsleitsystem mit einem Leitreehner (RBL) vorgesehen ist, in dem aktuelle Statusinformationen insbesondere zum momentanen Standort zu den im Strecken-

netz eingesetzten Fahrzeugen gespeichert werden und daß die datenverarbeitende Anlage (PTM) einen Koppelrechner bildet, über den der Verkehrssignalrechner der Verkehrsleitanlage und der Leitreehner des Betriebsleitsystemes miteinander vernetzt sind.

6. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Leitreehner (RBL) des Betriebsleitsystemes und der Verkehrssignalrechner (VSR) der Verkehrsleitanlage in Verbindung mit dem Koppelrechner (PTM) im Zusammen-

wirken mit dem Verkehrswegenetz mit den gesteuerten Lichtsignalanlagen (LSA) und den geführten Fahrzeugen (n) des öffentlichen Verkehrs einen Regelkreis bilden, in dem das Verkehrswegenetz die Regelstrecke ist, der Koppelrechner (PTM) die Funktion des Reglers wahrnimmt und der Leitreehner (RBL) sowie der Verkehrssignalrechner Meßglieder einerseits und Stellglieder andererseits darstellen.

7. System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Koppelrechner (PTM) die aktuelle Information über den Gesamtzustand des Verkehrswegenetzes in Form einer Matrix ( $z_1^1$  bis  $z_n^k$ ) gespeichert ist, in deren Zellen (z. B.  $z_n^k$ ) jeweils die Statusinformation eines einzelnen Fahrzeuges (n) an jeweils einer Abfertigungsstation (k), beispielsweise einer Haltestelle in der Weise gespeichert ist, daß sich in Zeilen- oder Spaltenrichtung einander benachbarte Zellen entweder auf die Fortbewegung eines individuellen Fahrzeuges (z. B. n) längs seiner Fahrstrecke bzw. auf einander nachfolgende Fahrzeuge an einer individuellen Abfertigungsstation beziehen.

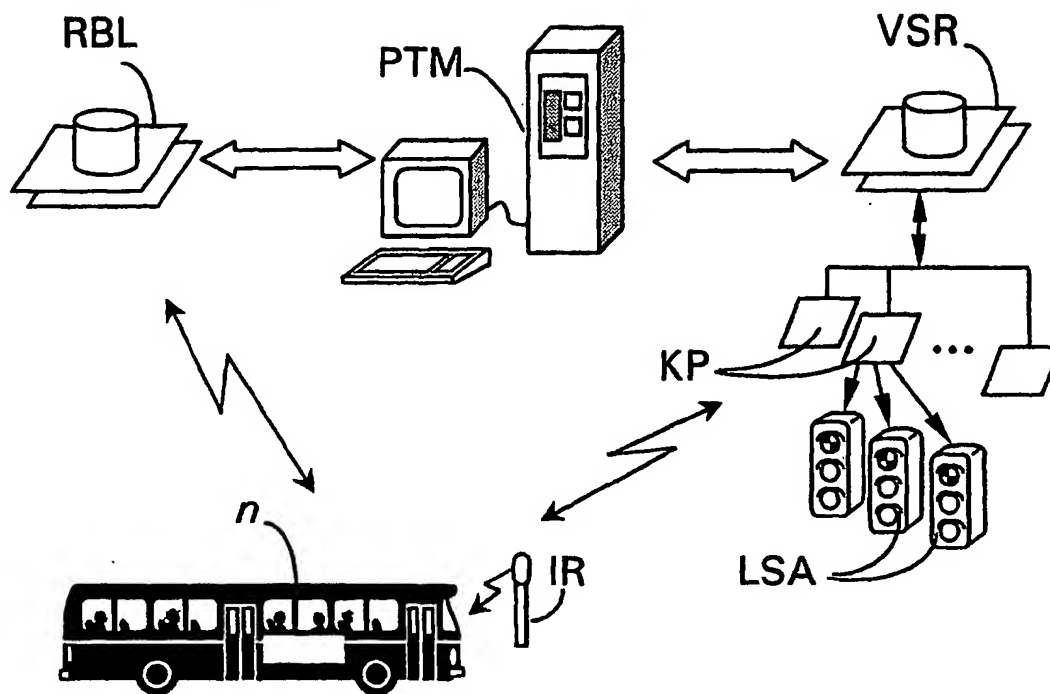
8. System nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Koppelrechner (PTM) eine auf die Besonderheiten des Verkehrswegenetzes und den dieses benutzenden öffentlichen Verkehr in einzelnen Anwendungsfall individuell abgestimmte Zielfunktion für den Regelungsprozeß vorgegeben ist, deren kontinuierliche rechnerische Minimierung basierend auf dem Matrixinhalt diejenigen Steuereingriffe bestimmt, die für einzelne Fahrzeuge an bestimmten Abfertigungsstationen notwendig und zulässig sind, um den Fluß des Gesamtverkehrs im Verkehrswe-

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

**FIG 1**



**FIG 2**

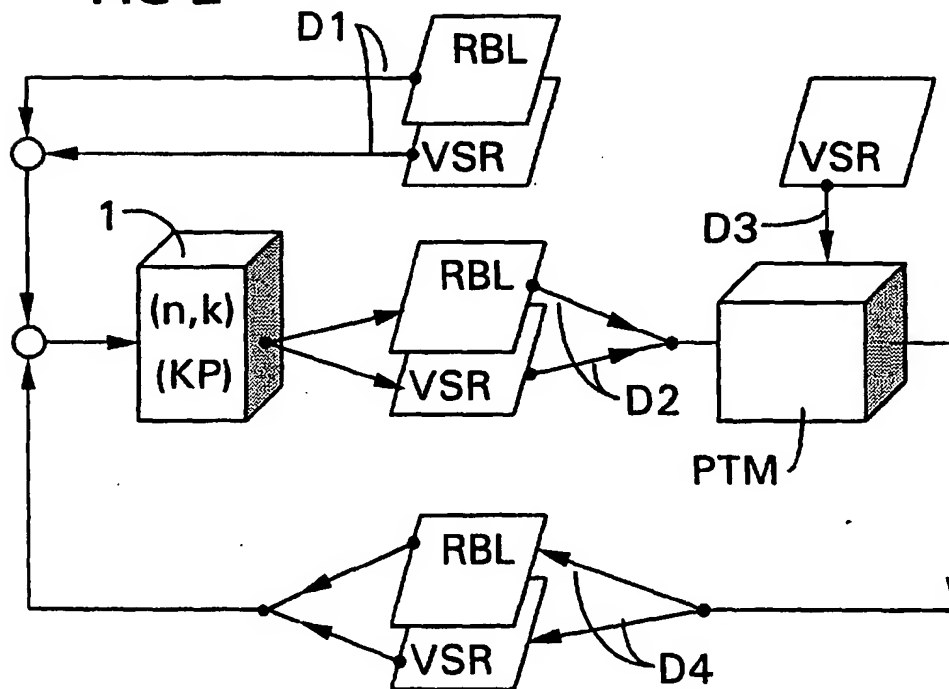


FIG 3

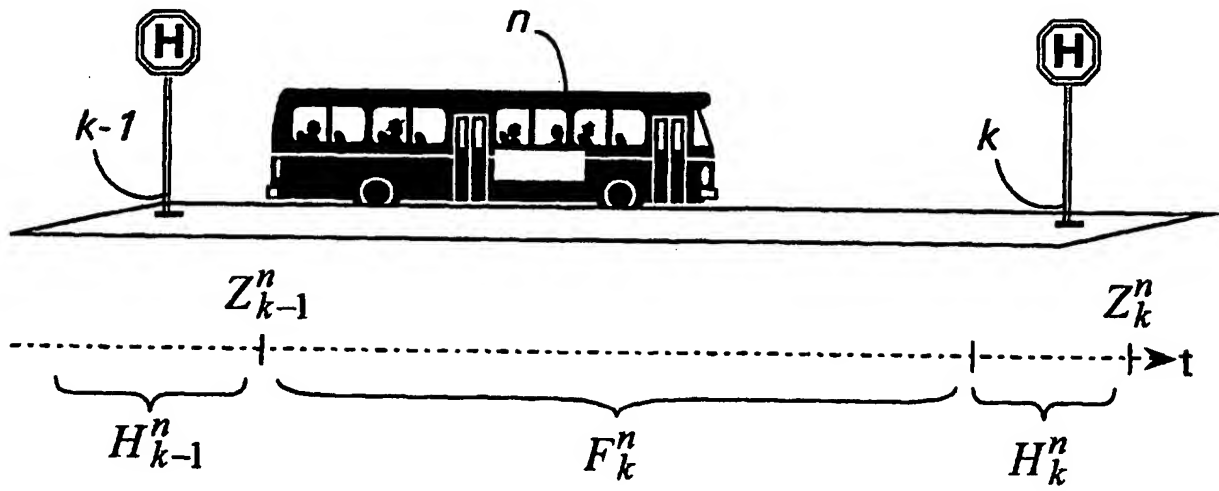


FIG 4

